كتابك

٧٧

د. محمد عبد الله بيومى

النفايات الذرية



دار المعارف



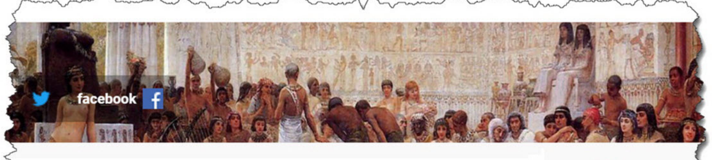
هذا الكتاب

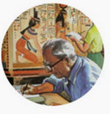
تتميز النفايات النووية بعدة خصائص تجعل من الضرورى إجراء اختبارات وبحوث عديدة قبل التفكير فى اختيار موقع دائم لتخزين هذه النفايات .

وهذا الكتاب يتعرض لهذا الموضوع المهم . ويجيب عن كثير من التساؤلات الملحّة التى تدور فى أذهان الكثيرين . كما يتعرَض لموضوعات الطاقة المتاحة فى العالم وأثرها على الإنسان .



ندعوكم لزيارة قنواتنا على اليوتيوب
وصفحاتنا على الفيس بوك





قناة الارشاد السياحي

29 ألف مشترك

Please Subscribe

قصص قصيرة - روايات طويلة

كل يوم قصة جديدة

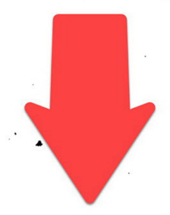


الكتاب المسموع - قصص قصيرة - روايات

330 مشترك

Please Subscribe





قصص قصيرة - روايات طويلة

كل يوم قصة جديدة



الكتاب المسموع - قصص قصيرة - روايات

330 مشتركًا

تخصيص القناة | إدارة الفيديوهات

الصفحة الرئيسية | الفيديوهات | قوائم التشغيل | القنوات | مناقش

الفيديوهات المُحمَّلة تشغيل الكل التـرتيب حسب



إمرأة - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

مشاهدة واحدة • قبل 15 دقيقة

إمرأة غفور - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

23 مشاهدة • قبل يوم واحد

إمرأة شريفة

قصة قصيرة

يوسف السباعي

20:40

إمرأة شريفة - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

55 مشاهدة • قبل يوم واحد



إمرأة ثكلى - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

42 مشاهدة • قبل 3 أيام

إمرأة ضالة

قصة قصيرة

يوسف السباعي

16:15

إمرأة ضالة - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

56 مشاهدة • قبل 4 أيام



إمرأة غيرى - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

48 مشاهدة • قبل 5 أيام



إمرأة وظلال - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

40 مشاهدة • قبل 6 أيام



إمرأة ورماد - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

35 مشاهدة • قبل 6 أيام



إمرأة محرومة - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

39 مشاهدة • قبل أسبوع واحد

إمرأة نائمة

قصة قصيرة

يوسف السباعي

18:08

إمرأة نائمة - يوسف السباعي -قصة قصيرة - الكتاب المسموع

47 مشاهدة • قبل أسبوع واحد



إمرأة صابرة - يوسف السباعي - الكتاب المسموع

52 مشاهدة • قبل أسبوع واحد

إمرأة خاسرة

قصة قصيرة

يوسف السباعي

29:17

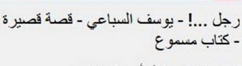
إمرأة خاسرة - يوسف السباعي - الكتاب المسموع

57 مشاهدة • قبل أسبوع واحد



كتاب مسموع - اثنا عشر رجلا (كاملا) - يوسف السباعي

70 مشاهدة • قبل أسبوع واحد



رجل ...! - يوسف السباعي - قصة قصيرة - كتاب مسموع

25 مشاهدة • قبل أسبوع واحد

رجل كريم - يوسف السباعي - قصة قصيرة

44 مشاهدة • قبل أسبوعين



رجل مجهول - يوسف السباعي - قصة قصيرة (الكتاب المسموع)

39 مشاهدة • قبل أسبوعين




رجل ورسالة - يوسف السباعي - قصة قصيرة كتاب مسموع

57 مشاهدة • قبل أسبوعين

رجل خاطئ - يوسف السباعي - قصة قصيرة - كتاب مسموع

32 مشاهدة • قبل أسبوعين

رجل مضيء - يوسف السباعي - قصة قصيرة كتاب مسموع

53 مشاهدة • قبل أسبوعين



رجل مهرج - يوسف السباعي - قصة قصيرة - كتاب مسموع

50 مشاهدة • قبل أسبوعين

رجل كافر - يوسف السباعي - قصة قصيرة - كتاب مسموع

70 مشاهدة • قبل أسبوعين



رجل قرير - يوسف السباعي - قصة قصيرة

78 مشاهدة • قبل 3 أسابيع



فانتازيا فرعونية - الجزء الثاني - محمد عفيفي (كتاب مسموع)

74 مشاهدة • قبل 3 أسابيع



رجل عبقري - قصة قصيرة - يوسف السباعي

68 مشاهدة • قبل 3 أسابيع

كتاب مسموع - هذا هو الحب (كاملا) - يوسف السباعي

118 مشاهدة • قبل 3 أسابيع



رجل عاقل - يوسف السباعي - كتاب مسموع

56 مشاهدة • قبل 3 أسابيع



رجل وظلال - يوسف السباعي - كتاب مسموع

34 مشاهدة • قبل 3 أسابيع



كتاب مسموع - يا أمة ضحكت كامل - يوسف السباعي - المجموعة القصصية...

139 مشاهدة • قبل 3 أسابيع



دليل الإدانة - قصة بوليسية - الفريد هتشكوك

9 مشاهدات • قبل 4 أسابيع

رصاصة في الظلام - قصة بوليسية قصيرة - ألفريد هتشكوك

28 مشاهدة • قبل 4 أسابيع



الشبح الظريف - قصة قصيرة مترجمة

11 مشاهدة • قبل 4 أسابيع



اليد المتنقلة - قصة قصيرة مترجمة

15 مشاهدة • قبل 4 أسابيع



كتاب مسموع - الشيخ زعرب وآخرون كامل - يوسف السباعي - المجموعة...

66 مشاهدة • قبل شهر واحد



ميدو قلب الأسد - يوسف السباعي - قصة قصيرة

42 مشاهدة • قبل شهر واحد



عبد البر أفندي - يوسف السباعي - قصة قصيرة

44 مشاهدة • قبل شهر واحد



عبد الجادر عبد الدليل - يوسف السباعي - قصة قصيرة

44 مشاهدة • قبل شهر واحد



الشيخ زعرب - يوسف السباعي - كتاب مسموع

35 مشاهدة • قبل شهر واحد



سي جمعة - قصة قصيرة - يوسف السباعي

32 مشاهدة • قبل شهر واحد



الأستاذ شملول - قصة قصيرة - يوسف السباعي

55 مشاهدة • قبل شهر واحد

الشيخ قطة - قصة قصيرة - يوسف السباعي

36 مشاهدة • قبل شهر واحد



عبد ربه الصرماتي - قصة قصيرة - يوسف السباعي

47 مشاهدة • قبل شهر واحد



كتاب مسموع - من العالم المجهول - يوسف السباعي (كامل) كتاب مسموع

110 مشاهدات • قبل شهر واحد



الواد عطوة - قصة قصيرة - يوسف السباعي

34 مشاهدة • قبل شهر واحد

زكية الحنش - قصة قصيرة - يوسف السباعي

41 مشاهدة • قبل شهر واحد

حسن أفندي - يوسف السباعي - كتاب مسموع

74 مشاهدة • قبل شهر واحد



أم نجية - قصة قصيرة - يوسف السباعي

47 مشاهدة • قبل شهر واحد



المحظوظ والكرة - قصة قصيرة - كتاب مسموع

27 مشاهدة • قبل شهر واحد

على القبر - قصة قصيرة - عبد الحميد جودة السحار

33 مشاهدة • قبل شهر واحد

الضحية الرابعة - قصة قصيرة - الكتاب المسموع

29 مشاهدة • قبل شهر واحد




الانتقام الرهيب - قصة قصيرة - الكتاب المسموع

45 مشاهدة • قبل شهر واحد

إيمونز العجوز - قصة قصيرة - الكتاب المسموع

37 مشاهدة • قبل شهر واحد



مطاردة الاشباح - قصص قصيرة مترجمة - الكتاب المسموع

25 مشاهدة • قبل شهر واحد



نزيل الفندق - قصة قصيرة (كتاب مسموع)

60 مشاهدة • قبل شهر واحد



الفرار - قصة قصيرة

18 مشاهدة • قبل شهر واحد



كيف تقلع عن التدخين - قصة قصيرة (مسموع)

49 مشاهدة • قبل شهر واحد



ريتا المخلصة- قصة قصيرة

15 مشاهدة • قبل شهر واحد

لا تتزوج ساحرة - قصة قصيرة

27 مشاهدة • قبل شهر واحد



الامبراطور العجوز - قصة قصيرة

17 مشاهدة • قبل شهر واحد




البصل الاخضر -قصة قصيرة

10 مشاهدات • قبل شهر واحد

9:20

سعادة للبيع قصة قصيرة - ألبرتومورافيا

27 مشاهدة • قبل شهر واحد



الرضيع ألبرتو مورافيا

25 مشاهدة • قبل شهر واحد



شجرة المنزل - ألبرتو مورافيا - قصة قصيرة

21 مشاهدة • قبل شهر واحد

25:53

مدينة و إمرأة - قصة قصيرة

31 مشاهدة • قبل شهر واحد

3:21

المرأة و النهر و الرمل - قصة قصيرة

37 مشاهدة • قبل شهرين



أنا والليل وعازف الساكسفون

43 مشاهدة • قبل شهرين



14:10

إمرأة ذائعة الصيت - قصص قصيرة - ألبرتومورافيا

28 مشاهدة • قبل شهرين



الشباب و الشيخوخة - إيفان بونين - قصة قصيرة

20 مشاهدة • قبل شهرين



اللوحة - قصة قصيرة - ألبرتومورافيا

17 مشاهدة • قبل شهرين



البعض نحبهم - أقوال مأثورة

5 مشاهدات • قبل شهرين

18:49

الوردة- قصة قصيرة -ألبرتو موافيا

20 مشاهدة • قبل شهرين



معركة في الحصن القديم

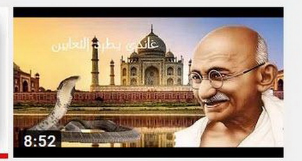
9 مشاهدات • قبل شهرين



8:14

ماري تقوم بأولى تجاربها

10 مشاهدات • قبل شهرين



غاندي يطرد الثعابين

14 مشاهدة • قبل شهرين



عباس العقاد هذه الوظيفة لا تليق بي

11 مشاهدة • قبل شهرين



ليو والشيء الأثمن من الذهب (كتاب مسموع)

15 مشاهدة • قبل 3 أشهر



جمال عبد الناصر من الذي يعشق الفقراء (كتاب مسموع)

10 مشاهدات • قبل 3 أشهر

إديسون و أصغر جريدة في العالم (كتاب مسموع)

18 مشاهدة • قبل 3 أشهر



نابليون يصيب الهدف (كتاب مسموع)

22 مشاهدة • قبل 3 أشهر



طه حسين الحلم الذي تحقق

19 مشاهدة • قبل 6 أشهر



عبد الكريم الخطابي الهرب إلى الجبال

40 مشاهدة • قبل 6 أشهر



فلورانس حاملة المصباح

40 مشاهدة • قبل 6 أشهر



عبد الحميد بن باديس لن أتعلم في هذه المدرسة

42 مشاهدة • قبل 6 أشهر



أبو الريحان البيروني قياس المسافات البعيدة

38 مشاهدة • قبل 6 أشهر



البيت الملعون

48 مشاهدة • قبل 6 أشهر



عبد العزيزبن سعود عبور الربع الخالي

15 مشاهدة • قبل 6 أشهر



شهاب الدين بن ماجد سأنقذ هذه السفينة

46 مشاهدة • قبل 6 أشهر



جابر بن حيان اكتشاف الذهب الحقيقي

1.7 ألف مشاهدة • قبل 7 أشهر



د. محمد عبد الله بيومى

النفايات الذرية



دار المعارف

الناشر : دار المعارف - ١١١٩ كورنيش النيل - القاهرة ج . م . ع .

الطـاقة

أنعم الله تبارك وتعالى على الإنسان منذ بدء الخليقة بمصدرين عظيمين من مصادر الطاقة ، ليستعين بهما مباشرة على قضاء حاجاته الأساسية ، وهى الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ، استخدم الإنسان الطاقة الشمسية فى التدفئة ، واستغل طاقة الرياح فى الانتقال . ثم ألهمه الله بعد ذلك على فترات من الزمان أن يقوم بحرق أنواع مختلفة من الوقود كالأخشاب والفحم والبترول والغازات ، لكى يستخدمها ، ويستمد منها الطاقة الحرارية اللازمة له فى غياب الشمس أوتحويلها إلى طاقة حركة تساعده فى دفع الآلات التى ابتكرها لتساعده فى أعماله .

اقتصر دور الإنسان بعد ذلك على التفكير فى إدارة هذه الآلات وابتكار آلات أخرى تجعل الحياة على الأرض مريحة ، فاكتشف إحدى الصور الوسيطة للطاقة ، وهى طاقة البخار ، فصنع القاطرة البخارية التى تعتبر من أولى مظاهر الثورة الصناعية التى انتهت باكتشاف الطاقة الكهربية . ويمكن الحصول على الطاقة الكهربية من أى صورة من الصور الأولية لمصادر الطاقة عن طريق حرق الفحم والبترول والغازات للحصول على البخار الذى يدفع توربينات تعلق عليها المولدات الكهربية .

وتعتبر الطاقة الكهربية مارد البشرية الجبار الذى يؤدى للإنسان كل أعماله الضرورية والكمالية بمجرد لمسات سحرية على أزرار وبأقل مجهود ، بذلك دخلت البشرية عصر الرفاهية ، فصنع الإنسان السيارات السريعة والطائرات بل الصواريخ التى يستخدمها تارة فى اكتشافه لأعماق الكون وتارة أخرى فى حمل قنابله المدمرة للفضاء على أخيه الإنسان !

واحتياطى العالم من الوقود بكل صوره محدود ، لذلك كانت رفاهية الإنسان سبباً فى بدء نضوب هذه المصادر ، ولذلك اتجه العالم إلى البحث عن مصادر جديدة للطاقة ، فاكتشف الطاقة النووية . وعلى الرغم من أن العلماء يعتقدون أن الطاقة النووية لن تشارك بأكثر من ٥،٧٪ من إمدادات الطاقة العالمية عام ١٩٨٥ فإن استعراضنا لمصادر الطاقة المتاحة فى العالم سيوضح لنا أهمية الطاقة النووية خلال الثلاثين عاما القادمة .

مصادر الطاقة المتاحة فى العالم

يمكن تقسيم مصادر الطاقة المتاحة فى العالم إلى قسمين رئيسيين هما :

- المصادر التقليدية للطاقة .
- والمصادر غير التقليدية .

والنوع الأول هو المصادر التى اعتاد الإنسان استخدامها مع مايتفق مع الصناعات الحديثة ، كالفحم والبترول والغازات .

والمصادر التى لجأ إليها الإنسان وهى غير التقليدية حينما شعر بقرب نضوب النوع الأول من ثم يمكن تقسيمها إلى نوعين من الطاقات :

* طاقات نظيفة : وهى التى لاتترك نفايات بعد استخدامها : كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الأمواج .

* طاقات نووية .

أولاً - المصادر التقليدية للطاقة :

(ا) الفحم :

يعتبر احتياطى العالم من الفحم وحده كافياً لإمدادات العالم ، من الطاقة بحوالى مائة وخمسين سنة ويقدر بحوالى ٥٠×١٠^{١٥} كيلووات ساعة ، يملك الاتحاد السوفيتى والولايات المتحدة الأمريكية من الإجمالى

حوالى ٨٠٪ ، منها حوالى ٦٣٪ فى الاتحاد السوفيتى . ويبلغ إنتاج الفحم السنوى حوالى ٣٠٠٠ مليون طن .

وعلى الرغم من ضخامة هذا المخزون نسبيًّا فإن العالم الصناعى لم يقدم على استخدامه لعدة أسباب أهمها انخفاض سعر البترول وسهولة استخدامه فى تشغيل الآلات ، ثم مشاكل التلوث الناجمة عن الاعتماد على الفحم كمصدر رئيسى للطاقة . وتقوم الدول الصناعية الكبرى بتجارب لإسالة الفحم ، لكى يمكن إحلاله محل البترول وللتحكم فى التلوث الناتج عنه ، ولكن لايتوقع أن يشارك الفحم حتى بداية القرن الحادى والعشرين بأكثر من ٣٢٪ من إمدادات الطاقة العالمية .

(ب) البترول :

تشير الدراسات التى أجريت لمسح المخزون العالمى للبترول إلى احتمال نضوبه تماماً خلال الثلاثين عاماً القادمة إذا ما استمر الاعتماد عليه بالمعدل نفسه . وتشارك كل أنواع النفط بحوالى ٤٧٪ من إجمالى إمدادات الطاقة العالمية على حين يبلغ احتياطيه حوالى 9.5×10^{15} كيلووات ساعة : أى حوالى $\frac{1}{5}$ مخزون الفحم من الطاقة .

(جـ) الغازات الطبيعية :

تغطى الغازات الطبيعية الطاقة حالياً حوالى ١٨٪ من متطلبات

الطاقة العالمية على حين يبلغ إجمالى المخزون العالمى من الطاقة بها حوالى ٣ × ١٠ ^{١٥} كيلووات ساعة . وينتظر أن يرتفع استهلاك الغازات ارتفاعاً ملحوظاً خلال الأعوام القادمة نظرا لضآلة التلوث الناتج عنه بالمقارنة بالفحم والبترول ، وكذلك سهولة استعماله ، ويبلغ إنتاج الغازات الطبيعية هذا العام حوالى ٥٠ ترليون قدم مكعبة .

ثانياً – المصادر غير التقليدية للطاقة :

(ا) الطاقات النظيفة :

وأبرزها هى الطاقة الشمسية التى تعد من آمال البشرية فى المستقبل حيث يتوقع العلماء أن تحل محل المصادر التقليدية للطاقة المستخدمة فى مجال الحياة اليومية كالتدفئة وتسخين المياه ، ولكنّ هناك عائقين أساسيين أمام استخدام الطاقة الشمسية :

الأول هو ارتفاع تكلفة وحدة الطاقة (كيلووات ساعة) الناتجة من الأجهزة الشمسية من حوالى ٥ إلى ١٠ أضعاف مثيلتها من المصادر التقليدية .

أما العائق الآخر فهو عدم استطاعة الأجهزة الشمسية لكثافة التغذية الكهربية العالية اللازمة للصناعات الكبرى .

وبجانب الطاقة الشمسية مصادر أخرى يصعب التنبؤ بإمكان الاعتماد عليها : كطاقة الرياح والأمواج والطاقة الجوفية . وعلى الرغم من ذلك

يعتقد العلماء أن الطاقة الجوفية يمكن أن تشارك بحوالى ١٪ من إجمالى متطلبات الطاقة العالمية عام ٢٠٠٠ .

وهناك نوع واحد من الطاقات النظيفة يشارك بنسبة ثابتة حوالى ٢٪ من إجمالى إمدادات العالم وهى الطاقة الهيدروليكية ، ولكن هذا المصدر ثابت ، ولايتوقع له أى زيادة فى المستقبل .

(ب) الطاقات النووية أو الطاقات الذرية :

مما سبق يتضح لنا أن البترول على وشك النضوب ، وهناك قيود على استعمال الفحم ، وكذلك فإن الطاقة الشمسية وجميع المصادر الأخرى إن لم تكن كافية للوفاء باحتياجات العالم فإنها لاتعطى كثافة تغذية كهربية عالية للصناعات الكبرى ، لذلك اتجه العالم نحو الطاقة الذرية كأحد الحلول الواقعية لمشكلة الطاقة .

وقد اشتق اسم الطاقة الذرية من أصغر جزء فى المادة وهى « الذرة » . وتتكون الذرة من قلب هذه النواة ذات شحنة موجبة تدور حوله الإلكترونيات السالبة . وتتكون النواة من نوعين من السواكن هى البروتونات ولها شحنة موجبة ، ويزن كل بروتون حوالى ١٨٤٠ إلكتروناً ، والنوع الآخر هو النيوترونات ، وهى أثقل قليلاً من البروتونات ولاتحمل أى شحنة كهربية . ويبلغ قطر نواة ذرة الأيدروجين التى تحتوى على بروتون واحد حوالى ٢ × ١٠ $^{-١٣}$ سم . وتتكون نواة أى

عنصر بصفة عامة من عدد من البروتونات وعدد آخر من النيوترونات ، وباختلاف نسبة وجود هذه المكونات تختلف العناصر : فبينما يوجد بنواة الأيدروجين بروتون واحد ولاتحتوى على أى نيوترونات – تحتوى نواة عنصر اليورانيوم على **٩٢** بروتوناً بالإضافة إلى **١٤٣** نيوتروناً .

وقديما اهتم المشتغلون بالكيمياء بحجر الفلاسفة وهو حجر اعتقدوا قديما قدرته على تحويل المعادن إلى ذهب . ويبدو أن الفكرة قد راقت للعلماء العاملين بالكيمياء النووية ، فظن العلماء أنه يمكن الحصول على عناصر جديدة بإضافة نيوترون أوبروتون إلى نواة أى عنصر .

وفى عام **١٩٣٩** قذف أحد العلماء الألمان نواة اليورانيوم بنيوترون بهدف الحصول على عنصر أكثر ثقلا من اليورانيوم ، ثم قام بفحص الناتج وكانت أعظم مفاجأة فى تاريخ البشرية . لم يتكون العنصر الثقيل ، بل انشطرت نواة اليورانيوم إلى قسمين متساويين تقريباً فى الكتلة ، وتطاير عدد من النيوترونات ، واندفعت كل النواتج بسرعات عالية فى جميع الاتجاهات مولدة قدراً كبيراً من الحرارة نتيجة تصادمها مع الأنوية الأخرى . وبذلك اكتشف الإنسان « الانشطار النووى » .

وقد يبدو غريبا لو علمنا أن اليورانيوم أحد أربعة عناصر فى الطبيعة ينتج عن انشطار أنويتها طاقة ، وهى اليورانيوم والثوريوم والبروتاكتينيوم والبلوتونيوم ، وأن أنوية العناصر الباقية تحدث انشطاراً لاينتج عنه أى طاقة . لقد كان الإنسان موفقاً فى إجراء تجاربه على اليورانيوم على الرغم

من أنه ليس أثقل العناصر على الإطلاق .

فكر العلماء بعد ذلك فى استخدام النيوترونات الطليقة من الانشطار فى إحداث انشطارات أخرى ، وبذلك تُكرر الانشطارات وتتسع دائرتها ، وتمكن العلماء من الحصول على مايسمى بالتفاعل المتسلسل الذى يلتهم كتلة اليورانيوم كلها فى أقل من الثانية مخلفاً كمية هائلة من الطاقة ونواتج انشطارات ذات إشعاعية عالية . ويحدث التفاعل المتسلسل إذا كانت كتلة اليورانيوم قادرة على الاحتفاظ بنيوترون واحد عل الأقل بداخلها محدثاً انشطاراً ، وتسمى هذه الكتلة بالكتلة الحرجة .

وقد وجد العلماء أن مجموع كتل نواتج الانشطار أقل من الكتلة الأصلية ، وأن هذا الفرق فى الكتلة يتناسب هو وكمية الطاقة الناتجة عن الانشطار الذرى . والبشرية لاتحمل ذكرى طيبة للانشطارات الذرية ؛ فهى مرتبطة فى أذهاننا بقنبلة هيروشيما الرهيبة التى أشاعت الدمار فى مساحة تقدر بمئات الكيلومترات ، وقتلت فى ثوان قليلة ٢٠٠ ألف يابانى ! ويقال : إن قنبلة هيروشيما كانت فى حجم كرة القدم ، والعلماء يقولون : إن الحجم الحرج الكافى لتسلسل الانشطار الذرى يمكن أن يكون بين حجم كرة البنج إلى حجم كرة القدم اعتماداً على نوعية اليورانيوم المستخدم .

فى الطبيعة أكثر من نوع واحد من اليورانيوم : اليورانيوم بنسبة ٩٩,٢٨٪ واليورانيوم ٢٣٤ بنسبة ٠,٠١٪ واليورانيوم ٢٣٥ بنسبة

٠,٧١٪ ، والنوعان الأول والثانى لاتحدث أنويتهما أى انشطار ، أما الأخير فهو الذى تحدث فيه ظاهرة الانشطار الذرى ، لذلك كلما زاد تركيز هذا النوع قلّ الحجم الحرج . ويقدر احتياطى العالم من اليورانيوم بحوالى أربعة ملايين من الأطنان .

وقد استطاع العلماء التحكم فى كمية الطاقة الناتجة من الانشطارات الذرية فيما يسمى بالمفاعل الذرى حيث يتم التحكم فى كثافة الانشطارات عن طريق التحكم فى كثافة النيوترونات المسببة للانشطار .

١ – المفاعل الذرى :

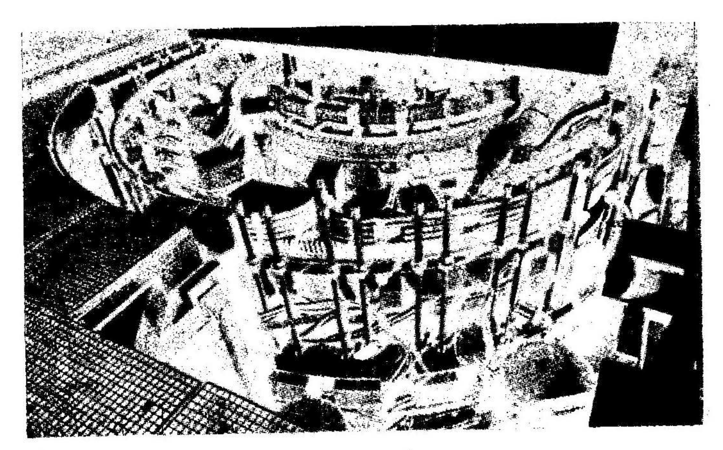
يحتوى المفاعل الذرى على اليورانيوم . معبأ داخل أعمدة من الصلب تمنع انتشار النواتج المتخلفة عن الانشطار . وقد وجد العلماء أن هناك طاقات معينة للنيوترونات يحدث عنها الانشطار ، ولذا تنقسم المفاعلات إلى نوعين رئيسيين .

المفاعلات السريعة : ويحدث فيها الانشطار المتسلسل بالنيوترونات السريعة المتولدة مباشرة من الانشطار .

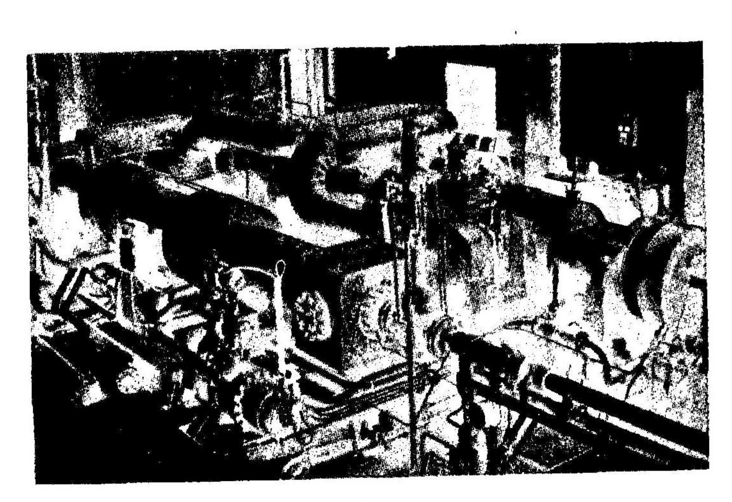
والنوع الآخر وهو المفاعلات الحرارية : وطاقة النيوترونات المسببة للانشطار بها منخفضة جدًّا بالنسبة للنوع الأول ، لذلك كان لابد من تهيئة النيوترونات الطليقة من الانشطار لإحداث التفاعل المتسلسل فى المفاعلات الحرارية ، ويتم ذلك بوضع أعمدة اليورانيوم فى كتلة من

الجرافيت أوالماء ، فتصدَم النيوترونات السريعة بذرات الهيدروجين أو الكربون ، فتفقد طاقاتها باستمرار حتى تصل إلى مستوى الانشطارات الحرارية . ويرجع اعتماد العالم وإقباله على المفاعلات الحرارية إلى سهولة التحكم فيها وتوافر عناصر الأمان الكافية لمنع الحوادث ، وأكثر أنواع المفاعلات الحرارية انتشاراً هى مفاعلات الماء : أى التى يستخدم فيها الماء كمهدئ للنيوترونات .

ويتكون مفاعل الماء من أعمدة اليورانيوم المحاطة بالماء اللازم لتهدئة النيوترونات التى تسبب الانشطارات الذرية داخل الأعمدة والتى لاتلبث أن ترتفع درجة حرارة سطحها نتيجة الطاقة المنطلقة . ويتم تبريد هذه الأعمدة باستمرار بإمرار الماء عليها ، وقد يسمح له بالغليان داخل المفاعل مولداً كمية كبيرة من البخار . وفى خارج المفاعل يتم إمرار البخار على توربينات معلق عليها مولدات لتوليد الطاقة الكهربية ، وتقدر مشاركة الطاقة الذرية فى إمدادات العالم هذا العام ١٩٧٨ بحوالى ٢٪ من إجمالى الإمدادات العالمية ، وينتظر أن تصل المشاركة إلى حوالى ١٦٪ عام ٢٠٠٠ .



جانب من أجهزة تحكم المفاعل الذرى



توربينات المفاعلات

«عدد المفاعلات وطاقاتها المتاحة والمقدرة»

	المفاعلات المتاحة فى العالم				مفاعلات تحت الانشطار أو التخطيط	
	١٩٦٨		١٩٧٨*		١٩٨٥	١٩٩٠
	عدد المفاعلات	الطاقة ميجاوات	عدد المفاعلات	الطاقة ميجاوات	الطاقة بالميجاوات	الطاقة بالميجاوات
الولايات المتحدة	١١	٢,٨	١٠٧	٨٥,٣	٢٩٩,٠	٥٠٠,٠
بريطانيا	٢٦	٤,٢	٤٣	١٤,٤	٤٤,٢	٧٠,٠
الاتحاد السوفيتى	—	—	٣١	١٠,٥	لا تقديرات	لا تقديرات
اليابان	١	٠,٢	٢٨	١٧,٩	٦٠,١	١١٠,٠
ألمانيا الغربية	٣	٠,٥	١٩	١٠,٨	٣٨,٢	٧٠,٠
فرنسا	٦	٠,٩	١٣	٥,٣	٢١,٧	٤٠,٠
كندا	٢	٠,٢	٩	٤,٠	١٢,٩	٢٠,٠
إسبانيا	١	٠,٢	٩	٦,٥	١٤,١	٢٠,٠
إيطاليا	٣	٠,٦	٧	٢,٥	١٤,٥	٢٥,٠
دول أخرى	١	٠,٣	٤٣	٢٠,٦	مضافة	مضافة
العالم	٥٤	٩,٩	٣٠٩	١٧٧,٨	٥٨٦,٠	١٠٠٠,٠

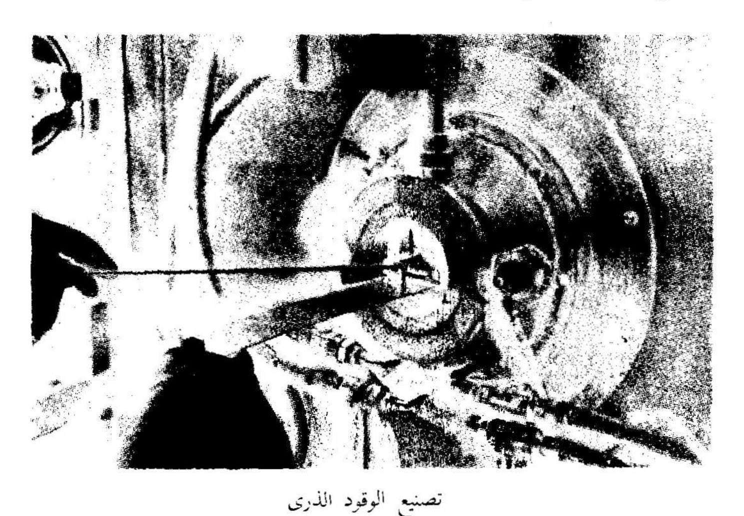
يوضح الجدول السابق أن الولايات المتحدة الأمريكية تستأثر بحوالى ٥٠٪ من الطاقة النووية المتاحة فى العالم ، كما يوضح النمو السريع لإمدادات الطاقة النووية التى تضاعفت مرتين تقريباً خلال عشر سنوات . ومن الغريب أن الشركات الاحتكارية للبترول بدأت فى احتكار مصادر اليورانيوم أيضاً ؛ حتى إنها أصبحت تملك ٥٥٪ من احتياطى اليورانيوم فى الولايات المتحدة ، وحوالى ٤٥٪ من احتياطى العالم كله . ولكن وجه الغرابة يزول حينما نعلم أن تكلفة وحدة الطاقة النووية أصبحت بعد عام **١٩٧٣** لاتزيد إلا بمقدار بين ١٠٪ إلى ٢٠٪ عن مثيلتها من الفحم أوالبترول ، كما أن نضوب البترول سوف يؤدى إلى ارتفاع أسعاره بصورة متزايدة علاوة على احتمال تحول العالم عن استخدامه كمصدر للطاقة وقصر استخدامه على مصنعات البترول كالبلاستيك وغيره .

٢ – الوقود النووى :

هناك أربعة أنواع من العناصر تنشطر أنويتها ، منها اليورانيوم ، واليورانيوم المستخرج من الأرض مباشرة لايمكن استخدامه كوقود للمفاعلات ، أويجب أن يمر بعمليات تنظيف وتنقية من الشوائب ، وخاصة التى يمكن أن تكون لها شراهية شديدة لامتصاص النيوترونات اللازمة لحدوث الانشطارات .

وعجينة اليورانيوم بعد هذه العمليات تسمى اليورانيوم الطبيعى . وتحتوى على ثلاثة أنواع من نظائر اليورانيوم هى اليورانيوم **٢٣٥** واليورانيوم **٢٣٨** واليورانيوم **٢٣٤** . والنوع الأول والثانى فقط تحدث بهما انشطارات بالنيوترونات السريعة ، أما النوع الثالث فلايحدث أى انشطارات . وفى المفاعلات الحرارية يتم تهدئة النيوترونات السريعة إلى مستوى طاقة معين كاف لإحداث الانشطارات فى اليورانيوم **٢٣٥** فقط . وكما ذكرنا سابقا كلما زاد تركيز اليورانيوم **٢٣٥** فى عجينة أعمدة الوقود قل الحجم الحرج لقلب المفاعل .

وعجينة اليورانيوم تطرأ على مكوناتها تغييرات فى أثناء وجودها داخل قلب المفاعل .



تصنيع الوقود الذرى

اليورانيوم ٢٣٥ :

هو بنسبة ٠,٧١٪ فى اليورانيوم الطبيعى ، وهو النظير القابل للانشطار بالنيوترونات البطيئة ، وهو الوقود الفعلى للمفاعلات الحرارية ، وكلما زاد تركيزه قل حجم قلب المفاعل ، وذلك يعود إلى زيادة احتمال إصابة أى نيوترون حرارى طليق داخل المفاعل بأنوية اليورانيوم ٢٣٥ .

وكل أنواع اليورانيوم يمكن تداولها باليد بسهولة إذ إنها عناصر مشعة لجسيمات على حين أنها إلكترونات ذات طاقة منخفضة جداً ، ويمكن إيقافها بحائل بسيط من الورق .

واليورانيوم ٢٣٥ عند انشطاره يعطى طاقة ويخلف وراءه نواتج انشطار شديدة الإشعاع ، ولذلك لاتترك عجينة اليورانيوم دون غلاف صلب يمنع تسرب هذه النواتج إلى المهدئ أوالمبرد لأعمدة الوقود ، وهناك معامل خاصة فى مصانع الوقود يتم فيها اختيار الأعمدة بطرق مختلفة بحيث لاتتأثر بزيادة الضغط الداخلى لغلاف الأعمدة ؛ كما يتم اختبارها لمعرفة مدى تحملها للإشعاعات الشديدة داخل المفاعل .

اليورانيوم ٢٣٨ :

وهو بنسبة ٩٩,٢٨٪ فى اليورانيوم الطبيعى . ولاتحدث به أى انشطارات بالنوترونات الحرارية ، ولكنه يمكن أن يكتسب (نيوترون)

ويتحول إلى عنصر جديد هو البلوتونيوم ٢٣٩ خلال تفاعلات نووية متتالية . والبلوتونيوم المتكون قابل للانشطار ولكن بالنيوترونات السريعة ، لذلك لايعانى أى انشطارات داخل المفاعلات الحرارية المصممة للعمل باليورانيوم كوقود .

ولكى تكون الطاقة الناتجة من المفاعلات اقتصادية يلزم استخلاص الوقود الجديد المتكون وهو البلوتونيوم ٢٣٩ لاستعماله فى المفاعلات السريعة أو فى تصنيع القنابل الذرية .

وللبلوتونيوم أهمية استراتيجية لذلك كانت المفاعلات الأولى تعمل باليورانيوم الطبيعى وتفقد جزءاً من الطاقة على حساب الحاجة لإنتاج البلوتونيوم للأغراض العسكرية .

وليس كل الوقود الموجود فى عجائن مجموعات الأعمدة يتم استهلاكه داخل المفاعلات ، بل قد يحدث ألاتستهلك كل الأعمدة فى المجموعة نفسها ، وبعد وجود الوقود فترة معينة داخل المفاعل واحتراق جزء كبير من اليورانيوم ٢٣٥ تصبح المجموعة غير حرجة : أى يقف الانشطار المتسلسل . ذلك يعود إلى زيادة تركيز نواتج الانشطار المشعة ، وهى نواتج شرهة الامتصاص للنيوترونات وتقل الانشطارات تبعاً لذلك ، وتكون النتيجة ضرورة استبدال مجموعات أعمدة الوقود المشتركة بمجموعات أخرى جديدة ، ولكن ذلك يعنى فقد جزء من اليورانيوم ٢٣٥ لم يحترق ، لذلك فإن اقتصاديات المفاعلات الذرية تحتم

إجراء عمليات استخلاص لهذا اليورانيوم ٢٣٥ المتبقى .

وإجمالاً لما سبق تحتوى عجينة الوقود بعد احتراقها على المكونات التالية :

- نواتج انشطار شديدة الإشعاع لاتنشطر ولاتصلح كوقود جديد وهى إما صلبة أوغازية .
- جزء متبقٍ من اليورانيوم ٢٣٥ يجب استعادته .
- وقود جديد متكون هو البلوتونيوم ٢٣٩ يجب استخلاصه .
- وقد اصطلح على تسمية عجينة اليورانيوم المستهلكة والمحتوية على المكونات السابقة باسم « رماد المفاعلات »

٣ – رماد المفاعلات :

لاتتأثر أغلفة أعمدة الوقود بوجودها داخل المفاعل ، لذلك تظل عجينة اليورانيوم بمكوناتها حبيس هذه الأغلفة حتى مرحلة المعالجة . وفى حين يمكن تداول أعمدة اليورانيوم الجديدة باليد فإن الأعمدة الخارجة من المفاعل تكون شديدة الإشعاعية ، بذلك يتم تداولها آليًّا وداخل غرفات خاصة . وتسبق عملية معالجة الوقود المستهلكة للحصول على اليورانيوم ٢٣٥ المتبقى والبلوتونيوم ٢٣٩ المتكون – عملية فض الأغلفة ، وهى عملية يتم فيها التخلص من الأغلفة بحرص وفصلها فى أوعية خاصة نظرا لتلوثها بالملامسة بنواتج الانشطار ، هذه النواتج الصلبة والغازية

تكون شديدة الإشعاع لذا يجب امتصاص الغازات فوراً بسوائل خاصة . وتتم عمليات فض الأغلفة داخل خلايا خاصة تسمى « الخلايا الساخنة » ولفظ السخونة هنا لايعود إلى الحرارة ، وإنما للدلالة على مستوى عالٍ من الإشعاع الكامن فى نواتج الانشطار .

٤ – نواتج الانشطار :

ويقصد بنواتج الانشطار مخلفات انشطار أنوية الوقود . وقد وجد أن اليورانيوم يمكن أن يعطى حوالى ثلاثين نوعاً من العناصر كنواتج الانشطار . وهذه العناصر المتكونة تشع جميع أنواع الإشعاعات المعروفة . وتبدأ العناصر الجديدة المتكونة فى الاضمحلال إلى عناصر أخرى ، وذلك عن إخراج جسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما بل النيوتونات أحياناً . وتصل درجة إشعاعية نواتج الانشطار إلى حوالى ٥٠ ألف « كورى » لكل لتر من الوقود المستهلك . والكورى هو الوحدة الشائعة للتعبير عن نشاط عينة مشعة ، وهو وحدة إشعاع كبيرة تساوى حوالى ٣,٧٪ $١٠^{١٠}$ تحلل فى الثانية الواحدة .

هذه النواتج الشديدة الإشعاعية توجد مختلطة باليورانيوم **٢٣٥** المتبقى والبلوتونيوم **٢٣٩** المتكون ، ولذا تتم عملية « المعالجة » لفصل العنصرين الأخيرين عن المخلفات المشعة .

٥ - معالجة الوقود المستهلك :

يقصد بعملية معالجة الوقود - استخلاص المواد النافعة كالتى يمكن إعادة استخدامها ، كوقود داخل المفاعلات الذرية : فبعد فض أغلفة الأعمدة يتم امتصاص الغازات بسوائل خاصة ، بعدها يتم إضافة مذيبات معينة إلى الناتج تجعل الخليط المتكون جاهزاً لفصل عنصرى البلوتونيوم واليورانيوم . وهناك طرق متعددة لفصل الأنوية كطريقة الانتشار المدعمة بالطرد المركزى والتبادل الأيونى .

يمر الخليط بعد معالجته بسوائل وأحماض ومذيبات خاصة بعدة مراحل للاستخلاص تنتهى بفصل نسبة كبيرة من اليورانيوم والبلوتونيوم فى أوعية خاصة ، وتمرر المخلفات المتبقية بعد ذلك إلى مستودعات مؤقتة تمهيداً لمعالجتها لكى تكون صالحة للتخزين .

٦ - معالجة المخلفات النووية :

بعد استخلاص عنصر اليورانيوم والبلوتونيوم من رماد المفاعل الذرى تتبقى المخلفات النووية فى صورة سوائل . وتختلف عملية معالجة المخلفات النووية من بلد إلى آخر ، ولكن قد اتفقوا جميعاً على أن هناك ثلاثة أنواع من المخلفات :

المخلفات النووية من النوع الأول :

وهى مخلفات صلبة تتكون من أغلفة أعمدة الوقود التى تلوثت بنواتج الانشطار ، ويتم الاحتفاظ بهذه المواد الصلبة فى معزل عن بقية المخلفات .

المخلفات النووية من النوع الثانى :

وهى المخلفات السائلة المتبقية من كل مراحل استخلاص اليورانيوم والبلوتونيوم من الرماد ماعدا المرحلة الأولى فقط . هذه السوائل تكون حمضية ، ولذا يتم معادلتها ثم تركزها بالبخر ثم يتم الاحتفاظ بها بعد تحويلها إلى أجسام صلبة بطرق مختلفة . ويتميز هذا النوع من المخلفات بوجود رواسب صلبة بنسبة كبيرة ، ولكن إشعاعيته متوسطة بالنسبة لمخلفات المرحلة الأولى للاستخلاص وتصل إلى كورى واحد لكل لتر .

المخلفات النووية من النوع الثالث :

وهى مخلفات المرحلة الأولى لاستخلاص البلوتونيوم ، وتتميز بأنها سوائل فقط وشديدة الحمضية أيضاً ، وترتفع إشعاعيتها إلى حوالى ١٠ آلاف كورى لكل لتر نظراً لاحتوائها على نواتج الانشطار ، وأهمها السيزيوم ١٣٧ والاسترونشيوم ٩٠ التى تمتد فترة إشعاعيتها إلى عشرات

القرون من السنين . ويتم تحويل هذا النوع من المخلفات أيضاً إلى أجسام صلبة تمهيداً لحفظها .

وتختلف طرق تثبيت المخلفات السائلة فى المواد الصلبة من بلد لآخر ، والأبحاث النووية قد اندفعت أخيراً بسرعة فيما يتعلق بتثبيت المخلفات النووية وحفظها .

٧ - تثبيت المخلفات النووية :

المقصود بعملية تثبيت المخلفات النووية فى المواد الصلبة هو تركيز المخلفات السائلة واحتواؤها داخل أجسام صلبة يمكنها امتصاص هذه المخلفات وتحويلها إلى أجسام صلبة فى الظروف الجوية العادية .

وتتميز المخلفات النووية السائلة عن أى نوع آخر من السوائل بخمس صفات :

- إنها سوائل شديدة الحمضية .
- إنها سوائل تحدث نحراً شديداً فى معظم المعادن .
- إنها سوائل ذات إشعاعية عالية للغاية .
- إنها سوائل ساخنة ، والسخونة نتيجة انبعاث طاقة حرارية مصاحبة لاضمحلال نواتج الانشطار المشعة .
- إنها سوائل لايمكن التوصل إلى معرفة تركيبها الكيمياوى بدقة نظراً للتحولات الشديدة التى تحدث داخلها .

هذه الصفات الخمسة تجعل التعامل مع هذه المخلفات النووية السائلة صعباً للغاية ، ولذلك تشعبت الطرق المتبعة لتثبيت هذه السوائل تمهيداً لتحويلها إلى أجسام صلبة قابلة للتخزين .

٨ - احتواء المخلفات النووية :

وهى عملية احتواء السوائل فى أجسام صلبة ، وتختلف العملية باختلاف نوع المخلفات والطريقة المتبعة أيضا ، ففى حين ترى بعض الدول تركيز السوائل بالتبخير ثم تحويلها إلى مسحوق يمكن إضافته إلى أحد المعادن المصهورة ، ثم تجمد هذه المعادن بالتبريد وبذلك تكون المخلفات النووية قد تم استيعابها داخل المعادن الصلبة . على حين يرى بعض ثان إضافة مواد إلى هذه السوائل وتسخينها إلى درجات حرارة عالية جدًّا .

هذه السوائل إذا تُركت لتبرد بعد ذلك ستتكون بها بلورات تحتوى على المكونات المشعة للمخلفات النووية .

ويرى فريق ثالث تحويل هذه السوائل إلى عجائن يتم إمرارها خلال ثقوب ضيقة لتتحول إلى نوع من الخرز المحتوى على المكونات المشعة . يتم احتواء هذا الخرز فى أحد المعادن .

ويتم اختيار المعدن أوالوسط المناسب للاحتفاظ بالمكونات المشعة طبقاً لمواصفات ثلاثة :

- أن تكون درجة انصهاره أقل من درجة انصهار الرواسب المشعة ، حتى لاتنصهر هذه الرواسب فى أثناء الصب داخل المعدن المصهور .
- ألاَّ يحدث بين هذا المعدن والرواسب المشعة أى تفاعل كيمياوى أوتبادل أيونى : أى يظل كل منهما فى حالته بعد تجمد القالب .
- أن يعمل هذا المعدن كدرع واقية ضد الإشعاع ، بحيث تقل كثافة الإشعاع المنبعثة من القالب بعد احتواء الرواسب المشعة فيه .

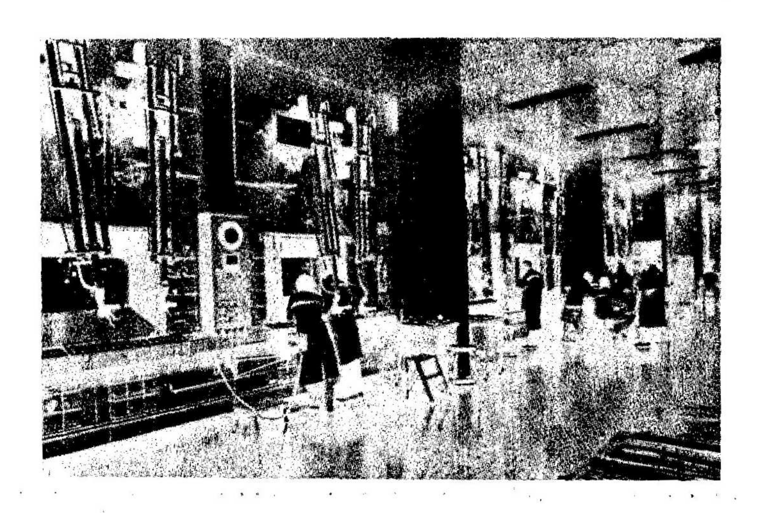
وهناك نوعان من المعادن تتوافر فيهما الخواص الثلاثة السابقة هما الرصاص والزركونيوم ، والأخير لايستعمل لارتفاع سعره ، علاوة على مزايا أخرى للرصاص . وقد تستخدم الخرسانة أحياناً .

تلى عملية تثبيت المخلفات النووية وعملية احتوائها فى قوالب صلبة عملية تغليف القوالب بأغلفة تصنع غالباً من الصلب ، لكى يسهل نقل هذه القوالب آلياً .

وتختلف الطريقة بأكملها من بلد لآخر وهناك أكثر من بلدين يعملان معاً فى مجال التخلص من المخلفات أوالنفايات النووية .

الطريقة البلجيكو ألمانية :

وهى طريقة لمعالجة وتثبيت واحتواء النفايات النووية العملية الإشعاع يستخدمها ويعمل على تطويرها علماء ألمانيا الغربية والعلماء البلجيكيون ، وتسمى طريقة « باميلا » .



اختبار أعمدة الوقود

وتتلخص الطريقة فى تحويل المخلفات إلى نوع من الخرز من زجاج فوسفاتى خاص يتم احتواؤه داخل قوالب من الرصاص تغلف من الخارج بأغلفة أسطوانية من الصلب غير القابل للصدأ . وتنقسم الطريقة إلى أربعة مراحل هى :

● **معادلة السوائل العالية الإشعاع وتركيزها :**

تضاف مواد خاصة للتخلص من حمضية النفايات النووية السائلة . وأغلبها حامض النيتريك . ويتم ذلك داخل مبخرات تعمل على تركيز

هذه السوائل ، يضاف إلى السوائل بعد تركيزها حامض الكبريتيك الذى يتم خلطه جيداً ، ومع استمرار التسخين تتبقى عجينة فوسفاتية .

- **الحصول على خرز من زجاج الفوسفات :**

يتم إنزال العجينة الفوسفاتية على جدران أسطوانة ساخنة إلى حوالى ألف درجة مئوية ، وباستمرار هبوط العجينة تزداد لزوجتها باستمرار ، لتمر عند القاع من ثقوب خاصة . يتم تقطيع العجينة المارة فى الثقوب من آن لآخر للحصول على قطع زجاجية أشبه بالخرز . يتم تبريد الخرز فى وعاء خاص محاط بدرع وقائية كبيرة لشدة إشعاعيته .

احتواء الخرز المشع داخل قوالب معدنية :

وترى هذه الطريقة أن أحسن المعادن هى الرصاص وسبائكه ، فيتم صهر الرصاص وإسقاط الخرز المشع داخله مع استمرار دوران القالب لتوزيع الخرز . يتم تبريد قوالب الرصاص ببطء شديد حتى لاتحدث أى تشققات . ثم يتم استيعابها داخل أسطوانة من الصلب غير القابل للصدأ .

- **متابعة النواتج الغازية لعملية التركيز :**

تعتبر هذه العملية من أهم العمليات التى تتم لمنع تسرب أى نفايات

نووية مع الأبخرة المتصاعدة فى أثناء تركيز المخلفات السائلة. وتتم هذه العملية على عدة مراحل. يتم تكثيف الأبخرة فى مستودعات خاصة، أما المكونات الغازية فيتم معالجتها عن طريق دفعها تحت رشاشات سائلة للتيقن من خلوها من أى عوالق مشعة. يتم تبخير سوائل المعالجة مرة أخرى وتعاد الرواسب إلى مستودع التركيز الرئيسى.

وقد قام الباحثون الألمان بالتحقق من صلاحية هذه الطريقة عن طريق اختيار القوالب ومحتوياتها. فقد استخدموا المجس الإلكترونى والكشف بالأشعة لمتابعة انتشار الرصاص والسيزيوم والإسترونشيوم والصوديوم عند السطح الزجاجى الفاصل بين مكونات الخرز الزجاجى ومادة القالب وهى الرصاص. وكانت النتائج مشجعة، إذ لم يعثر العلماء على أى انتشار متبادل؛ فقد احتفظ الخرز بمخلفاته النووية، ولم يسمح الرصاص لها بالانتشار داخله.

هذه الطريقة تسمح بصنع قوالب يصل وزنها إلى ٢٨٠ كيلو جرام، وتمتاز قوالبها بتحملها للحرارة الشديدة الناتجة عن تحلل النفايات النووية المشعة، بالإضافة إلى قابلية إعادة صهرها فى حالة أى عيوب تظهر عند اختبارها؛ كما أن لهذه القوالب ميزة أخرى تعود إلى نوعية مكوناتها التى تجعلها لاتتأثر بانخفاض أو ارتفاع حرارتها على الرغم من تكونها من الزجاج والرصاص والصلب؛ كما أن وجود الرصاص يجعلها تعمل كحاجز وقائى ذاتى ضد إشعاعها الخاص.

الطريقة الأمريكية « نيومكسيكو » :

وهى طريقة حديثة ، ولاتزال فى طور الاختبار ، وتتلخص فى إمكان إحداث تبادل أيونى بين سوائل معينة وسوائل النهايات الذرية وتكون نتيجة التبادل عجائن يمكن تجميدها بسهولة .

فقد قام العلماء بتكوين نوع من المركبات السائلة هو تيتانات الصوديوم ، التى ماإن تضاف إلى المخلفات النووية السائلة حتى يحدث تبادل أيونى ينفصل على إثره الماء ، وتتبقى عجينة من النفايات النووية . تظل العجينة عالقة حتى يتم رفع درجة حرارة الخليط ، فتترسب النفايات على هيئة بلورات . يتم تصفية السوائل لفصل البلورات التى يتم تحويلها تحت ضغط إلى أقراص صغيرة بأقطار من ١ سم إلى ٤ سم .

وتهدف هذه الطريقة فى المستقبل إلى محاولة فصل أنوية السيزيوم خلال عملية تثبيت واحتواء النفايات . أما أقراص النفايات المتكونة فيمكن دفنها فى قوالب معدنية كالطريقة السابقة .

الطريقة الأمريكية «واشنطن ب . ن . ل »

يقول العلماء عن هذه الطريقة : إنها طريقة علمية جيدة لاحتواء النفايات النووية داخل قوالب معدنية صلبة . وتتلخص الطريقة فى تبخير النفايات السائلة الشديدة الإشعاع عن طريق تحويلها إلى الرذاذ يندفع تحت ضغط (ليصطدم بجدران) أسطوانة ساخنة جداً . مما يساعد على

تبخير ماء النفايات وتتبقى قشور صلبة على جدران الأسطوانة تجمع على هيئة مسحوق . يتم إمرار الابخرة بعد ذلك على أدشاش ماء للغسيل لكيلا تتسرب معها أى نفايات صلب إلى الهواء . ماء الغسيل يتم إعادة تبخيره مرة أخرى وتعاد الرواسب إلى المبخر الرئيسى .

المسحوق المحتوى على النفايات المشعة يضاف إليه نوع خاص من الرمال (السيليكا) التى تتحول فى درجات الحرارة العالية إلى عجينة الزجاج . تمرر العجينة الساخنة إلى أوعية خاصة من الصلب غير القابل للصدأ . هذه الأوعية ستكون عالية الإشعاع لذلك يتم وضعها داخل قوالب خاصة من الرصاص . ومن مميزات هذه الطريقة أنه يمكن إعادة صهر هذه القوالب فى حالة حدوث أى عيوب ، كما أن عملية التبخير وكذلك إضافة السيليكا الخاصة من شأنهما تخفيض حجم النفايات المطلوب تخزينها إلى أصغر حجم ممكن .

الطريقة الروسية :

وهى طريقة تجمع بين الطريقتين البلجيكو ألمانية والطريقة الأمريكية السابقة : يتم تبخير النفايات السائلة ، ثم يضاف إلى المسحوق المتخلف حامض الكبرتيك ، ويتم خلط السائل وتسخينه إلى درجة حرارة عالية ، حتى تتكون عجينة فوسفاتية . الأبخرة المتصاعدة يتم تنقيتها قبل إطلاقها ، أما العجينة الفوسفاتية فيتم إمرارها إلى قوالب خاصة .

الطريقة الإيطالية الأولى :

وهى طريقة تشبه الطريقة البلجيكو ألمانية . ولكن يتم الحصول على نوعين من الزجاج : إما زجاج فوسفاتى أوزجاج البوروسيليكات ، وفى كلتا الحالتين يتم إمرار مصهور الزجاج مباشرة داخل أوعية أسطوانية مجزاة من الداخل إلى ثلاث مناطق . الأبخرة المتصاعدة يعاد تنقيتها من أى عوالق نووية ذات إشعاع عالٍ .

الطريقة الفرنسية :

يحاول العلماء الفرنسيون تطوير طريقتهم فى تثبيت النفايات السائلة العالية الإشعاع فى المعادن الصلبة ، وذلك فى معاملهم فى « ماركول » حيث يتم تحويل هذه السوائل إلى نوع خاص من الزجاج على خطوتين ، الأولى إدخال السوائل داخل أسطوانة مسخنة تدور بسرعة مما يساعد على تطاير الأبخرة وتبقى قشور متكلسة على جوانب الأسطوانة يتم تحميلها على هيئة مسحوق من آن لآخر فى قاع الأسطوانة . فى الخطوة الثانية يتم إدخال المسحوق إلى فرن ، حيث يتم خلطه بمواد تحوله إلى نوع من الزجاج يتم صبه وهو مصهور داخل قوالب معدنية ، الأبخرة المتصاعدة يتم تنقيتها وإعادة سوائل التنقية إلى المبخر الرئيسى .

الطريقة النمساوية :

وللنمساويين طريقة فى معالجة النفايات النووية السائلة تعتمد على تبخير هذه النفايات للحصول على مسحوق جاف لأملاح النفايات المشعة . تخلط هذه الأملاح « بالبيتومين » الساخنَ ، ثم يمرر الخليط إلى براميل للتخزين ، الأبخرة المتصاعدة فى أثناء هذه العملية يتم تكثيفها للتيقن من خلوها من أى نفايات محمولة معها . تتم هذه العملية حالياً فى معمل تجريبى .

الطريقة الإيطالية الثانية :

وهى إحدى الطرق المستخدمة فى معالجة النفايات السائلة ذات الإشعاعية المنخفضة والمتوسطة ، وهى طريقة لاتزال أيضاً تحت الاختبار . وتعرف هذه الطريقة بطريقة الاحتواء داخل بلوكات الأسمنت وهى الطريقة الأكثر شيوعاً .

ويعمل الإيطاليون على تطويرها منذ عام ١٩٧٤ بعد أعوام قليلة من بدء الولايات المتحدة استخدامها . وتتلخص الطريقة فى خلط النفايات السائلة بالأسمنت والرمال لتكوين نوع من الخرسانة المشعة التى سيتم تغليفها فيما بعد بالصلب غير القابل للصدأ .

وفى هذه الطريقة يجب ضبط نسبة كل من النفايات والأسمنت ،

كذلك تتم العملية كلها تحت تفريغ شبه تام وفى درجة حرارة حوالى ١٦٥ درجة مئوية .

وقد أثبتت الخرسانة المتكونة مقاومة عالية للضغوط الميكانيكية ، وكذلك عدم تأثيرها بأى حريق مفاجئ ، كما أن البلوكات الخرسانية المتكونة تتحمل إشعاعها الذاتى والحرارة المتولدة عن المواد المشعة داخلها .

تخزين النفايات النووية

تتميز النفايات النووية بعدة خصائص تجعل من الضرورى إجراء اختبارات وبحوث عديدة ، قبل التفكير فى اختيار موقع دائم لتخزين هذه النفايات . والعلماء حريصون دائماً على ألا تحدث أى حوادث نووية ، لذلك قاموا بوضع عدة شروط يجب أن تتوافر فى موقع التخزين الدائم وفى مقدمتها :

– أن تكون الطبقات الجيولوجية فى الموقع مستقرة ، ولايوجد أى احتمال لوقوع هزات أرضية عنيفة .

– أن يكون هناك مصدر دائم لتبريد هذه النفايات نظراً للحرارة الذاتية المنبعثة منها .

– أن يعمل الموقع ذاته كدرع وقائية ضد الإشعاع الناتج عن هذه النفايات .

– أن يكون مكان التخزين خالياً من الرطوبة .

– أن يكون مكان التخزين مؤمناً عليه ضد الحرائق والحوادث .

– أن يكون مكان التخزين قريباً من المؤسسات النووية .

– أن يكون موقع التخزين بعيداً عن أى مصادر مياه طبيعية أوأى مصادر طبيعية جوفية أخرى .

ولكل من هذه الشروط أسباب تعود إلى طبيعة هذه النفايات المشعة ؛ لكى تقل احتمالات الحوادث فى أثناء عملية النقل يراعى بعض العلماء أن يتم تركيز المؤسسات النووية فى منطقة يتم بجوارها عملية التخزين ، ومن المفضل أن يتم كل شىء بطريقة آلية . وتشترط الوكالة الدولية للطاقة الذرية ألا تتأثر البيئة بأى حرائق فى داخل مواقع التخزين .

ويجب أن يكون الموقع ذا رطوبة منخفضة جدًّا ، حتى لاتتأثر أغلفة الصلب المغلفة بها القوالب أوالبلوكات أوالبراميل المحتوية على النفايات حتى لاتؤدى إلى تآكلها ومن ثم حدوث تلوثٍ لموقع التخزين مما يجعله غير صالح .

والقوالب المحتوية على النفايات قد يصل إشعاعها إلى حوالى ألف كورى لكل لتر ، لذلك يجب أن يختار الموقع بحيث يكون درعاً واقية ضد هذه الإشعاعات ماأمكن .

علاوة على ضرورة وجود مصدر دائم لتبريد مكان التخزين ، ويستحسن أن يكون مصدراً طبيعيًّا لايتأثر بانقطاع الكهرباء أووسائل التبريد الصناعية .

وينقسم تخزين النفايات النووية إلى مرحلتين :

- مرحلة التخزين المؤقت .
- مرحلة التخزين الدائم .

١ – التخزين المؤقت للنفايات النووية :

يكون موقع التخزين المؤقت قريباً جداً من الموقع الذى تتم فيه معالجة النفايات السائلة ، وترجع ضرورة وجود فترة تخزين مؤقت للنفايات قبل تخزينها دائماً إلى العوامل التالية :

– التركيب الكيمياوى الدقيق للنفايات غير معروف نظراً لأنها فى حالة نشاط مستمر .

– الحرارة المنبعثة من قوالب أو بلوكات النفايات .

– ضرورة جمع معلومات حول :

١ – معدل الإشعاع من هذه القوالب أوالبلوكات ، ومدى تغيره مع الزمن .

٢ – معدل كمية الحرارة المنبعثة من هذه البلوكات ، ومدى تغيره مع الزمن .

– احتمال تفتت القوالب أوالبلوكات تحت ظروف الإشعاع والحرارة .

كل هذه العوامل السابقة تجعل فترة التخزين المؤقت ضرورة بل يرى العلماء أنها قد تمتد من ٢٠ إلى ٣٠ عاما .

ويتم التخزين المؤقت حالياً فى بعض الدول داخل مخازن خاصة يتم فيها توفير الشروط السابقة بطريقة صناعية : كاستخدام درع وقائية كافية

من الرصاص حول موقع التخزين المؤقت . ومن أهم مشاكل التخزين المؤقت تبريد موقع التخزين حيث تبلغ الطاقة المنبعثة من كل لتر من هذه النفايات المعبأة فى قوالب حوالى ٣٠ وات . وعملية « تكييف » الموقع تستلزم ترتيب قوالب النفايات فى أشكال هندسية خاصة تجعل من الممكن أن يتم التبريد بالهواء بقوة دفع تعتمد على فرق درجات الحرارة . وفى الظروف العادية يستخدم الماء والهواء لتبريد مواقع التخزين باستخدام مضخات تعمل بالكهرباء .

ويتم أخذ عينات من هواء وماء التبريد لمتابعة احتمالات تسرب أى نفايات مع هواء أوماء التبريد علماً بأن التبريد بالماء لايتم بالتلامس المباشر بين الماء وقوالب النفايات ، وإنما يتم تبريد غرف حفظ القوالب .

ويلخص العلماء الأمريكيون فوائد التخزين المؤقت فى عنصرين :

– منع تلوث أوتعرض الإنسان لهذه النفايات .

– الاحتفاظ بهذه النفايات فترة معينة لمعرفة خواصها تمهيداً لتخزينها بصفة دائمة .

وكل الدول تقريباً التى لها برامج طاقة تعتمد على المفاعلات الذرية لها مخازن مؤقتة قريبة من مواقع مصانع استخلاص اليورانيوم المتبقى فى الوقود المستهلك ، وكذلك البلوتونيوم المتكون ويتفق العلماء تقريباً على ضرورة العمل على إيجاد طرق عملية أخرى لمعالجة هذه النفايات ، بل يتوقع العلماء قبل انتهاء فترة التخزين المؤقت التوصل إلى طرق حديثة

تجعل هذه النفايات أقل ضرراً مما هى عليه الآن .

وتستخدم المخازن المؤقتة فى الوقت نفسه لتخزين الوقود المستهلك قبل معالجته للحصول على مكوناته النافعة ، وللوقود المستهلك خواص النفايات النووية نفسها من حيث قوة الإشعاع والحرارة الذاتية المنبعثة منه ، لذلك يجب الاحتفاظ به فى ظروف تخزين النفايات النووية نفسها .

ويتم الاحتفاظ بالوقود المستهلك بنفس الصورة التى هى عليها داخل المفاعلات : أى أنه يكون على صورة أعمدة أومجموعات أعمدة .

وفى كندا يقوم العاملون فى مجال المفاعلات بالاحتفاظ بالوقود المستهلك داخل قوالب خرسانية مجوفة . توضع مجموعات الأعمدة داخل القوالب ، ثم تمر فى دهليز رأسى إلى قاعة تخزين خاصة تحت مستوى سطح الأرض . تحاط هذه القاعة تقريباً من جميع الاتجاهات بالماء الذى يرتفع مستواه بمجرد الانتهاء من تخزين الوقود المستهلك .

وقرار نقل النفايات النووية من مخازنها المؤقتة إلى مخازنها الدائمة يعد من اختصاص إحدى اللجان الحكومية الرسمية التى تجمع علماء من تخصصات عديدة : كالزراعة والطب والبيئة والعلوم والكيمياء وهذه اللجنة التى توجد تقريبا فى جميع الدول الأوربية لها تخصصات أخرى منها :

– تحديد الحدود القصوى لكمية ودرجة إشعاع الغازات التى تطلق

فى الهواء خلال عملية معالجة النفايات واحتوائها فى قوالب صلبة .

– تحديد مدة التخزين المؤقت .

– تحديد طرق نقل واحتواء النفايات وكذلك فحص كل مواقع التخزين الدائم الممكنة .

وتعكف هذه اللجان حالياً فى معظم الدول التى تستخدم الطاقة النووية على دراسة نتائج مرحلة التخزين المؤقت لتحديد موعد نقل النفايات النووية إلى مخازنها الدائمة .

٢ – نتائج التخزين المؤقت :

يعتبر تشكيل لجنة البت المتعددة التخصصات العلمية ضماناً علمياً كافياً لحيدة القرار ، حيث تقوم هذه اللجنة بفحص نتائج التخزين المؤقت المقدم من منفذى برنامج الطاقة النووية وتنقسم النتائج إلى أربعة أقسام :

– نتائج الثبات الإشعاعى .

– نتائج الثبات الميكانيكى .

– نتائج الثبات الكيمياوى .

– نتائج الثبات الحرارى .

الطاقة الذرية البريطانية :

وللبريطانيين طريقة فى معرفة النتائج السابقة ، وهى تصنيع قوالب تحتوى على العناصر نفسها تقريباً التى توجد فى النفايات النووية ، ولكن باستخدام نظائر غير مشعة لهذه العناصر ، ويتم تحويل هذه النفايات المماثلة وغير المشعة إلى زجاج بطريقة مشابهة لعملية تثبيت النفايات النووية ، ثم يتم احتواء هذا الزجاج فى قوالب معدنية بعملية مماثلة تماماً لما يحدث للنفايات النووية .

القوالب الناتجة غير مشعة ، لذا يقوم العلماء بتعريضها لإشعاع خارجى مماثل للإشعاع الذاتى لقوالب النفايات الحقيقية . ولاختصار الزمن اللازم للحصول على الناتج يقوم العلماء بمضاعفة كمية الإشعاع المعرضة لها القوالب ، وقد توصلوا بهذه الطريقة إلى نتائج مكافئة لحوالى مائة سنة من التخزين .

وقد وجد أن هذه القوالب لم تتأثر بهذه الكمية الهائلة من الإشعاع ويرى العلماء أن إعطاء هذه الكمية دفعة واحدة للقوالب بدون أن تتأثر يزيد من الضمان لعدم حدوث أى نتائج سلبية خلال التعرض الهادئ للإشعاع على مدد طويلة .

كما أثبتت هذه التجارب ثبات القوالب أمام الحرارة المتولدة عنها علاوة على تحمل جيد للضغوط الميكانيكية وجهود القص .

الطاقة الذرية الألمانية (برلين) :

يستخدم الألمان طريقة « باميلا » للحصول على قوالب من النفايات المحتواة داخل الرصاص بعد تحويلها إلى زجاج فوسفاتى أوزجاج البورو سيليكات ، وقد اختبر العلماء القوالب الحقيقية داخل غرفات خاصة وبطريقة ميكانيكية تماماً ، وقد أعطت هذه القوالب مقاومة عالية لأى إجهادات ميكانيكية ، وقد أوصى العلماء بعدم تعرض القوالب لدرجات حرارة أعلى من درجة انصهار معدن الاحتواء (الرصاص ثم الصلب غير القابل للصدأ) ، كما يواصل العلماء أبحاثهم لمحاولة التوصل إلى نتائج جيدة حول الثبات الكيمياوى لمكونات النفايات المشعة المحتواة داخل القوالب .

الطاقة الذرية الكندية :

تعتبر نتائج الكنديين أكثر النتائج تفصيلاً حول ثبات المخزون من النفايات النووية : فى عام ١٩٦٠ قام الكنديون بتخزين خمسين من البلوكات المحتوية على النفايات النووية فى صورة رواسب زجاجية تتم تعبئتها ودفنها مباشرة فى الأرض : خمسة وعشرون من هذه البلوكات ذات إشعاع إجمالى حوالى ٣٠٠ كورى ، والباقى ذو إشعاع إجمالى حوالى ألف كورى .

قام العلماء باختبار تسرب المواد المشعة إلى المياه الجوفية حول موقع التخزين . وقد استمرت القياسات خمسة عشر عاما متصلة ، وقد أجريت قياسات أيضا لمستوى الإشعاع فى التربة المحيطة بالبلوكات المحتوية على النفايات .

وقد أخذ العلماء عنصر الأسترونشيوم المشع كمقياس لتسرب النفايات . وقد وجد أن إجمالى المتسرب منه من البلوكات خلال ١٥ عاما أصغر كثيراً جدًّا من الكورى الواحد ، كما أن عناصر التربة المحيطة بالبلوكات لم تتأثر كثيراً بوجود هذه النفايات النووية .

ويتوقع هؤلاء العلماء استيعاب نفايات (٣٠) ألف ميجاوات لازمة للصناعة وبالطريقة نفسها .

الطاقة الذرية الفرنسية :

يستخدم الفرنسيون طريقة مشابهة للطريقة البريطانية ، حيث يتم تحضير بلوكات زجاجية مماثلة لبلوكات النفايات الحقيقية ، وتتم تعريض الأولى لإشعاع مماثل لقوة الإشعاع الذاتى للنفايات . وتهدف تجاربهم إلى دراسة آثار الإشعاع على البلوكات الزجاجية كذلك مدى تراكم الحرارة المتولدة ذاتيا من النفايات .

كما قام العلماء بدراسة تركيب القوالب بعد تشعيعها بمقارنتها بقوالب لم تتعرض لأى إشعاع .

وتتلخص نتائجهم فى نقطتين هامتين : أولاهما أنه لايحدث تراكم للحرارة بداخل القوالب ، وإنما كل الحرارة المولدة ذاتية يتم إشعاعها باستمرار ، أما النقطة الأخرى فتثبت أنه بعد الفحص بالأشعة السينية لكلا الغالبين لم يحدث أى تغيير فى تركيب الزجاج .

الطريقة الأمريكية (ب . ذ . ل) :

يقول العلماء الأمريكيون : إن أسوأ تأثير على قوالب النفايات ينتج عن التعرض لجسميات « ألفا » المولدة ذاتياً منها ، لذلك أجرى العلماء تجارب تهدف إلى تعجيل التأثير الممكن حدوثه بجسيمات ألفا ، عن طريق احتواء نفايات مركزة داخل القوالب . وقد ضوعفت درجة التركيز إلى أن أمكن معرفة مدى التأثير الممكن حدوثه خلال عشرة آلاف سنة بقياسات تمتد على مدى خمسة أعوام فقط .

وقد أثبتت هذه التجارب أن الحرارة الكامنة فى قوالب النفايات لايمكن أن ترفع درجة حرارة القوالب حتى درجة انصهارها . ويعرض هؤلاء العلماء باستخدام طريقة تحويل النفايات إلى زجاج واحتوائه فى المعادن فى حالة التخزين الدائم ، ولكنهم يوصون أيضا بإجراء مزيد من التجارب .

٣ – التخزين الدائم للنفايات النووية :

هناك خمس طرق ممكنة للتخزين الدائم للنفايات النووية هى :

(ا) التخزين فوق أومباشرة تحت سطح الأرض داخل مخازن خاصة مكيفة الهواء .

(ب) التخزين تحت سطح الأرض وفوق مستوى المياه الجوفية (الدفن فى التكوينات الجيولوجية)

(ج) التخزين فى التكوينات الملحية ويشمل :

– التخزين فى مناجم الملح المهجورة والتى فوق مستوى المياه الجوفية .

– التخزين داخل مناجم ملح مكتشفة حديثاً ، ويتم ذلك للنفايات الشديدة الإشعاع .

– تخزين النفايات المتوسطة الإشعاع داخل تكوينات ملحية صناعية .

(د) حقن النفايات السائلة والغازية داخل الصخور المسامية التى فى أعماق الأرض .

(هـ) الدفن تحت قاع البحر .

وعملية المفاضلة بين هذه الخمس بدائل تتم باستخدام العقول الإلكترونية فى بعض الدول كألمانيا الغربية ، ويمكن إجمال متطلبات

البرامج ومعطياتها فيما يلى .

– عزل النفايات النووية عن البيئة وحماية المصادر الطبيعية اللازمة للبشرية كالمياه .

– ضمان عزل هذه النفايات لمدد طويلة تصل إلى مئات السنين .

– تأثير الحوادث والحرائق .

– سعة المخازن وكمية النفايات المطلوب تخزينها .

– وجود تكوينات جيولوجية يمكن استخدامها فى التخزين .

– وجود تكوينات ملحية .

– إمكان تصنيع تكوينات ملحية .

– إمكان الطرق العلمية المتبعة لتثبيت واحتواء النفايات النووية .

– الانتشار السكانى حول مواقع التخزين .

– خرائط المياه الجوفية ومصادر الطاقة الجوفية .

– شكل التكوينات الجيولوجية حول الموقع المقترح للتخزين .

– خفض التكاليف المالية للتخزين .

وقد أضاف علماء ألمانيا الغربية أكثر من ٢٥ بنداً يجب اعتبارها عند عملية المفاضلة بين مواقع التخزين المختلفة ، وقد أعطت العقول الإلكترونية نتائج لحساب الاقتصادى للتخزين التى توضح أن أرخص الطرق للتخزين الدائم هى أكثرها حذراً ، وهى التخزين فى مخازن مكيفة فوق سطح الأرض ، ووجد أغلى الطرق للتخزين وأقلها أثراً على

البيئة هى تخزين النفايات النووية فى مناجم ملح حديثة ، وتبلغ تكلفة الطريقة الثابتة حوالى ضعف الطريقة الأولى باعتبار مدة تخزين واحدة فى الحالتين حوالى ٢٥ عاماً .

وعملية دفن النفايات النووية فى باطن الأرض يتوقع العلماء أن تكون مشابهة لعملية دفن المياه الملوثة المصاحبة لعمليات استخراج البترول فى باطن الأرض ، ولكن لن تتم مثل هذه العملية بالبساطة المتبعة حالياً مع المياه ، وإنما ستكون هناك دراسة علمية لمنع تلوث البيئة بالنفايات المشعة السائلة .

ويرى العلماء أن النفايات النووية الغازية المصاحبة لعملية تثبيت واحتواء النفايات السائلة داخل قوالب صلبة يجب ألاتطلق فى الهواء ، وإنما يمكن أن تضخ إلى أعماق الأرض لاستيعابها أيضاً فى الصخور المسامية الهشة التى على أعماق كبيرة . هذا يمكن أن يقلل درجة تلوث الغلاف الجوى نتيجة إطلاق هذه النفايات الغازية ، كما يحدث حالياً فى معظم الدول .

التخزين الدائم فى مناجم الملح :

تعتبر مناجم الملح من أحسن التكوينات الصالحة لتخزين النفايات النووية ، وخاصة التى تطلق إشعاعات ألفا . وتمتاز التكوينات الملحية بانخفاض أوحتى انعدام الرطوبة داخلها ، فالملح يمتاز بقدرته على

امتصاص الرطوبة ، وبذلك يمكن تقليل تسرب النفايات النووية أو تآكل قوالبها المعدنية بالرطوبة ، وتشكل مناجم الملح درعاً وقائية مناسبة أيضا أمام إشعاعات النفايات .

وعند اختيار أحد المناجم لتخزين النفايات تجرى خمس دراسات أساسية قبل البت فى قبوله وصلاحيته وهى :

– دراسة حالة المنجم الفنية : حيث يتم تقدير كميات الملح ومدى تحمله لاستيعاب النفايات .

– دراسة جيولوجية للموقع : يتم اختبار نوع الصخور الملحية . وكذلك التكوينات الجيولوجية المحيطة بالمنجم .

– دراسة هيدرولوجية : يتم فيها تحديد مستوى المياه الجوفية ومدى سرعتها ومعدل تسربها فى طبقات الأرض ، وكذا احتمالات وصولها للمنجم غير العادية .

– دراسة ثبات المنجم : وفيها يتم تحديد مدى تحمل المنجم لأى هزات أرضية ممكنة .

– خطة الأمان أمام الظروف الطارئة : وتحدد فيها إمكانات المنجم لتحمل أى ظروف طارئة كالغمر بالمياه أو انهيار بعض أجزائه .

نتائج هذه الدراسات الخمس تضاف إلى نتائج التخزين المؤقت فى أحد برامج العقول الإلكترونية لتحديد قدرة المنجم على استيعاب الطاقة الحرارية المولدة ذاتياً من النفايات المشعة ، وكذلك رسم خرائط لكثافة

الإشعاع فى منطقة تقدر بعشرات الكيلومترات حول المنجم .

والهولنديون يقولون : إن التخزين فى المناجم يعد من أحسن الطرق لتخزين النفايات النووية ، وقد دلت تحاليل أحد النماذج الرياضية النظرية أن تخزين النفايات الإشعاعية داخل أحد التكوينات الملحية على عمق حوالى نصف كيلومتر يعد كافياً لعدم وصول أى إشعاعات ضارة إلى سطح الأرض على شرط عدم وجود أى مصادر مياه جوفية قريبة من الموقع . ويرى الهولنديون ضرورة استمرار التجارب العلمية التى تهدف إلى معرفة مدى احتمال تسرب النفايات المشعة إلى خارج المنجم فى حالة تسرب المياه الجوفية إليها ، والألمان يرون أن مناجم الملح أيضاً من أجود الطرق ، ويرون فى منجم الملح فى منطقة « الآز » الحل العلمى المقبول لتخزين نفايات مفاعلاتهم الذرية .

وقد أذاع علماء الولايات المتحدة أخيراً تقريراً عن ملاحظاتهم على أحد المناجم الملحية التى تستخدم منذ عشرين عاماً كمخزن للنفايات النووية . ويعملون حالياً فى تجهيز موقع جديد للتخزين الدائم فى جنوب شرق مدينة نيومكسيكو ليبدأ فى عام ١٩٨٥ فى حالة موافقة اللجان المختصة على التخزين الدائم .

التخزين الدائم فى قاع البحر :

هو الدفن الدائم للنفايات النووية المنخفضة والمتوسطة الإشعاع فى

قاع البحار والمحيطات ، ومنذ عام ١٩٤٦ تدفن الولايات المتحدة الأمريكية فى قاع المحيط تحت إشراف الطاقة الذرية الأمريكية ، وفى عام ١٩٦٥ توقفت الولايات المتحدة عن دفن نفايات فى قاع المحيط .

استخدمت الولايات المتحدة أربعة مواقع للدفن فى قاع المحيط منذ عام ١٩٤٦ حتى عام ١٩٦٥ ويظهر الجدول التالى مواقعها وكميات النفايات المدفونة بها ، ومعرفة تفاصيل هذه المواقع له أهمية خاصة للعاملين فى الملاحة البحرية .

ويتضح من الجدول الآتى أن معظم النفايات على هيئة بلوكات خرسانية مغلفة بالصلب ، ثم استيعاب النفايات الذرية داخلها ، ويبلغ حجم البلوك حوالى ٥٥ جالونا . بمستوى إشعاعى بين ١١٠٠ إلى ٤١٤٠٠ كورى . وقد تم اختيار موقع الأطلانتيك مرة عام ١٩٥٧ وأخرى عام ١٩٦٠ أما الموقع الثانى فقد تم اختباره عام ١٩٦١ بناء على طلب لجنة حماية البيئة الأمريكية ، ولم تحدث أى اختبارات أخرى حتى عام ١٩٧٤ ، وهى السنة التى طلبت فيها اللجنة إعادة الاختبار لجميع المواقع .

وتتم اختبارات المواقع بنوع خاص من الغواصات تعمل آليا وبدون آدميين . وتحمل اثنتين من الكاميرات المتحركة ذات العدسات الخاصة المجهزة للعمل تحت الماء .

وتحمل الكاميرات أفلاماً ملونة وتتم الإضاءة بضوء بخار الزئبق ،

الموقع	الأبعـــاد	العمق (م) / البعد عن الشاطئ (كم)	سنوات الاستخدام	عدد البلوكات الخرسانية	النشاط الإشعاعى لكل بلوك (كورى)
أطلانتيك	٣٨° ٣٠ شمال ٧٢° ٦ غرب	٢٨٠٠ / ١٩٠	١٩٥١ – ١٩٥٦ ١٩٥٩ – ١٩٦٢	١٤٣٠٠	٤١٤٠٠
أطلانتيك – ٢	٣٧° ٥٠ شمال ٧٠° ٣٥ غرب	٣٨٠٠ / ٣٢٠	١٩٥٧ – ١٩٥٩	١٤٥٠٠	٢١٠٠
جزيرة ڤالون (الباسيفيك)	٣٧° ٣٨ شمال ١٢٣° ٨ غرب	٩٠٠ / ٦٠	١٩٥١ – ١٩٥٣	٣٥٠٠	١١٠٠
جزيرة فارالون	٣٧° ٣٧ شمال ١٢٣° – غرب	١٧٠٠ / ٧٧	١٩٤٦ – ١٩٥٠ ١٩٥٤ – ١٩٦٥	٤٤٠٠٠	١٣٤٠٠

وللغواصة ذراع تحمل مجسات للكشف عن الإشعاع على مسافات تصل إلى ٤٠٠ متر فى الماء .

وعلى ظهر سفينة أبحاث تعمل مع الغواصة يتم تحليل العينات ، ثم يتم تجميدها وإرسالها داخل أوعية خاصة إلى المعامل فى الولايات المتحدة لتحليلها مرة أخرى للتيقن من النتائج . يتم إخطار لجنة حماية البيئة الأمريكية أولاً بأول بنتائج التحليلات .

وقد أظهرت التحاليل المعملية للعينات المأخوذة من مواقع النفايات النووية فى المحيط تسرب بعض المواد كالبلوتونيوم ٢٣٨ ، ٢٣٩ ، ٢٤٠ . ويقول العلماء : إن تسرب هذه المواد كان متوقعاً بل إن معدل انتشار هذه المواد مع الزمن كان محسوباً بطرق نظرية بدقة بالغة . وعنصر السيزيوم فقط هو الذى خالف توقعات العلماء فقد وجد فى بعض العينات مختلطاً بالمواد السابقة .

وتبلغ سرعة التيارات المائية إن وجدت فى مواقع الدفن حوالى ١ - ١٠ سنتيمترات فى الثانية ، لذلك لايتوقع العلماء وصول هذه المواد المشعة إلى الشواطئ قبل آلاف السنين .

وقد أثبت الاختبار أن جميع الأسطح المعدنية للبلوكات تعانى من النحر الناتج عن ماء البحر ، ولكن الاختبار أثبت أيضاً عدم تأثر قلب المعدن بذلك النحر ، وقد وجدت بعض البلوكات تعانى من ضغوط داخلية على أسطوانات التغليف .

ويتوقع العلماء أن ارتفاع قاع المحيط عن طريق الترسيب سيكون كافياً خلال ثلاثة قرون لتغطية هذه المخلفات النووية تماماً ، وتبلغ سرعة الترسيب حوالى ٣ سنتيمترات لكل قرن . وتظهر أهمية سرعة الترسيب فى كونها أحد العوامل المعوقة لانتشار النفايات النووية بعد تحلل أوعيتها .

واليابانيون الذين يعانون من ضيق المساحة المتاحة على الأرض لايزالون يرون الدفن فى قاع المحيط الأمل الكبير فى دفن نفاياتهم النووية ، وقد بدأت اليابان عام ١٩٧٧ فى تجارب تهدف إلى تحسين طرق الدفن فى قاع المحيط بحيث لاتحدث أى أثر على البيئة البحرية التى تعتبر مصدر الغذاء الرئيسى لليابانيين .

ويقوم اليابانيون بمعالجة النفايات بالطرق الحديثة لتبخيرها وتحويلها إلى مسحوق . يتم استيعابها داخل « البيتومين » ثم تغليفها تغليفاً أولياً بالخرسانة . وقد ابتدع العلماء اليابانيون عام ١٩٧١ طريقة للتغليف المتعدد للبلوكات المحتوية على النفايات تجعل احتمالات التسرب منها ضئيلة للغاية . وقد تحملت بلوكات النوع الجديد ضغوطاً تبلغ ٥٠٠ كيلو جرام على السنتيمتر المربع مما يجعلها صالحة للدفن فى أعماق بعيدة .

ولايزال اليابانيون يقومون بتجاربهم للتيقن من عدم وجود أى أخطار للدفن فى المحيطات والبحار .

دفن النفايات النووية المنخفضة الإشعاع فى التكوينات الصناعية الأرضية :

ويقصد بالنفايات المنخفضة الإشعاع النفايات التى لاتتعدى درجة إشعاع اللتر الواحد منها الكورى الواحد ، كما يقصد بالتكوينات الصناعية الأرضية مخازن تكاد تكون على سطح الأرض يتم إنشاؤها صناعياً .

وقد قام مكتب الإشعاع الأمريكى عام **١٩٧٢** ببدء برنامج يهدف إلى معرفة تأثير دفن النفايات النووية على البيئة . اهتم المكتب أولاً بالنفايات النووية ذات الإشعاع المنخفض والتى تشغل أكبر حجم عن الدفن . وقد تم تجهيز ستة مواقع فى كل من بارنويل وجنوبى كارولينا ونيفادا وبيتى وماكس فلات وكنتكى وريتشلاند وواشنطن وشيلد وألينوا روست فالى ونيويورك ، كما تم تجهيز خمسة مواقع فيدرالية أخرى فى معامل لوس ألاموس وأيداهو ومعامل أوك ريدج وهانفورد وتينسى . وقد تم اختيار هذه المواقع لكى يمكن التعرف على تأثير دفن النفايات فى أجواء مختلفة : فهناك بعض الولايات تمتاز بالجفاف فى حين أن الأخرى لها رطوبة عالية ، وقد تم اختيار بعض المواقع قريباً من المياه الجوفية ولكن بالبعد المناسب لتلافى أى خطأ ممكن حدوثه .

وقد أظهرت نتائج الفحص الأولية لهذه المواقع أنه لاخطر على البيئة

الحيوانية من هذه النفايات المنخفضة الإشعاع على الرغم من وجود ارتحال لبعض المكونات المشعة ، كما أن المواقع التى جهزت فى مناطق الرطوبة العالية لم تحدث أى انحرافات فى النتائج النظرية المتوقع حدوثها .

ولاتزال المعامل التابعة لهذه المواقع تقوم بتحليل نتائج الأعوام الخمسة الماضية ، ويمكن تلخيص توصياتها فيما يلى :

– احتمال تأثير البيئة الحيوانية القريب من سطح الأرض للنفايات المنخفضة الإشعاع صغيرة جداً .

– يجب البحث عن طرق جديدة لمعاملة وتعبئة هذه النفايات قبل دفنها .

– إن كل المشاكل والأخطاء التى حدثت فى مواقع الدفن من النوع الممكن إصلاحه .

ويرى الفرنسيون أن دفن هذه النفايات المنخفضة الإشعاع فى تكوينات صناعية على سطح الأرض لابد أن يحقق الشروط الآتية :

– أن يكون موقع الدفن غير آهل بالسكان وأن يكون بعيداً عن الأرض الزراعية .

– أن تكون مصادر المياه للسكان القريبين تأتى من مصادر بعيدة عن موقع التخزين .

– أن يكون هناك إشراف وتحكم تام فى الموقع .

وقد قام الفرنسيون بتجهيز موقع تجريبى للدفن تتوافر فيه الشروط

السابقة فى عام ١٩٦٧ فى منطقة قريبة من الهافر بالقرب من مركز للطاقة الذرية الفرنسية (الهاج) ، وفى عام ١٩٧٥ نشر تقرير أولى عن نتائج الدفن أوصى بأنه يمكن دفن النفايات المنخفضة الإشعاع ، ولكن بطريقة مجمعة فى موقع واحد على الأكثر لكل فرنسا ؛ حتى تكون عملية الإشراف شبه كاملة ؛ كما يجب تركيز المؤسسات النووية حتى لاتحدث مشاكل للبيئة فى أثناء عملية نقل النفايات .

دفن النفايات النووية فى التكوينات الجيولوجية الطبيعية :

هناك بعض التكوينات الجيولوجية التى تمتاز بالثبات وفى مناطق بعيدة عن مراكز الزلازل الأرضية يمكن الاستفادة منها فى دفن النفايات النووية . ويشترط فى هذه التكوينات أيضاً أن تكون بعيدة عن مصادر المياه الطبيعية ، وكذلك البترول وقد توجد هذه التكوينات فوق أو تحت سطح الأرض ،

ففى إيطاليا حيث يمتاز الجنوب بطبيعة جبلية جافة — وجدت الطاقة الذرية الإيطالية إمكان دفن النفايات النووية دفناً دائماً فى أحد المواقع فى منطقة باسيليكاتا ويبعد الموقع عدة كيلومترات إلى الغرب من البحر الأدرياتيكى وعدة كيلومترات إلى الغرب من بحر الترياتهين ، ويرتفع الموقع عدة عشرات من الأمتار فوق مستوى سطح البحر ، وتمتاز جيولوجية الموقع بوجود تكوينات من الطمى المتماسك الذى يحتوى على

رمال عدسية ، كما توجد نسبة عالية من كربونات الكالسيوم فى الطمى تبلغ حوالى ٢٠٪ ، وتبلغ نفاذية هذا الطمى حوالى ١ - ٨ سنتيمترات لكل ثانية .

وقد قام الإيطاليون بإجراء تجارب تهدف إلى معرفة تأثير الحرارة الذاتية للنفايات النووية على تكوين وتحمل الطمى ، فوجدوا أن التسخين يخفض مكونات كربونات الكالسيوم ، كما تظهر مركبات أخرى نتيجة بعض التفاعلات الكيمياوية البطيئة التى تنشط بالحرارة ولكن العلماء يرون فى رطوبة الطمى مصدرًا طبيعيًّا لتبريد هذه النفايات المشعة .

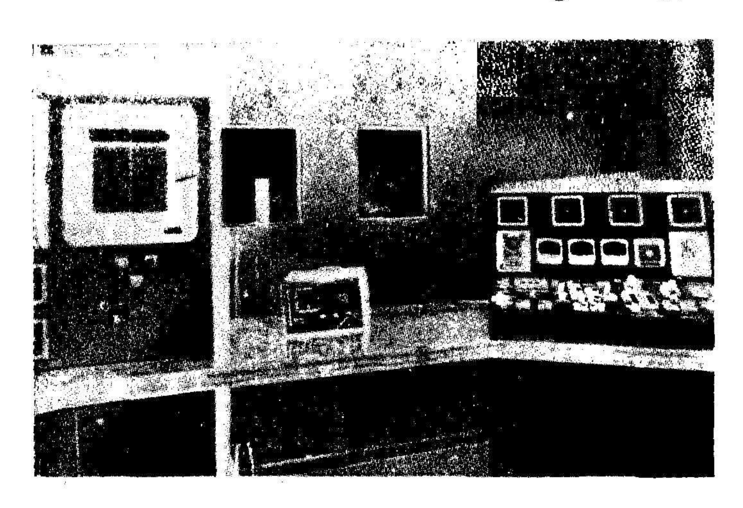
ويواصل الإيطاليون أبحاثهم حول إمكان دفن كل أنواع النفايات فى هذه الكهوف الطبيعية المبطنة بالطمى الرطب والبعيدة عن مستوى المياه الجوفية ومستوى سطح البحر .

وينتظر العلماء الإيطاليون الذين بدءوا أبحاثهم بهذا الشأن عام ١٩٧٦ أن يتخذوا قرارهم خلال السنوات العشر القادمة .

ويرى البلجيكيون أن الدفن فى التكوينات الجيولوجية الثابتة يعد من الطرق التى يمكن أن تحقق تأميناً لدفن كل أنواع النفايات على شرط أن تكون معبأة بطريقة جيدة . ويقوم البلجيكيون حالياً باختبار أحد المواقع فى منطقة « كامبين » التى تمتاز بوجود جيوب من الطمى مدفونة داخل تكوينات جيولوجية صماء .

وترتفع هذه المنطقة من ٢٠ إلى ٨٠ متراً فوق مستوى سطح البحر ، وبذلك تكون المياه الجوفية فى معزل عن التلوث المباشر وطبيعة هذا الطمى من النوع الرملى الفقير فى الزراعة وتعداد السكان فى هذه المنطقة لايتعدى ٢٠٠ فرد لكل كيلومتر مربع لم تعان منطقة « كامبين » من أى زلازل قوية خلال هذا القرن ولم يجد العلماء أى آثار لزلازل فى الماضى .

وقد بحث البلجيكيون أيضاً موقف مصادر المياه الطبيعية فى المنطقة فوجدوا أن بها نبعين طبيعيين للمياه تتم تغذيتهما من جنوب المنطقة وبعمق مترين فقط على الأكثر .



عملية اختبار تلوث النباتات بالإشعاع الذرى

ويقوم العلماء حالياً برسم خرائط التسرب الجيولوجي للمياه فى المنطقة ، وقد دلت أبحاثهم المبدئية عن وجود مناطق شبه جافة فى أعماقها الجيولوجية ، وقد قام العلماء البلجيكيون أيضاً بتحليل مكونات تربة المنطقة بهدف التيقن من عدم وجود أى أضرار تنتج عن احتوائها لمواد عالية الإشعاع ، ولم تصدر حتى الآن نتيجة أبحاثهم التى بدأت عام ١٩٧٥ . وتعتبر نتائج التبادل الأيونى للتربة من أهم النتائج التى ينتظر العلماء استكمالها قبل رفع نتائجهم إلى اللجان المسئولة عن الدفن الدائم للنفايات النووية .

طاقة الاندماج النووية (طاقة بلا نفايات)

عندما نتكلم عن الطاقة النووية يفهم بعضٌ منا أنها فقط طاقة الانشطار الأنوية – وقد أوضحنا أنه عندما تكون نواتج الانشطار أقل وزناً من النواة الأصلية فإن فرق الكتلة يتحول إلى طاقة وكانت هذه هى الفكرة الأساسية للمفاعلات الذرية . وقد فكر العلماء فى إمكان حدوث تفاعل عكسى للانشطار ، ويكون أيضا مولدا للطاقة أى تندمج نواتان لإعطاء نواة واحدة ، ويكون هناك فرق بين مجموع كتل الأنوية الأصلية والنواة المتكونة .

وقد وجد العلماء أنه فى حين أن الأنوية الثقيلة التى تعانى انشطاراً مصحوباً بطاقة فإن أنوية العناصر الخفيفة كالأيدروجين تعانى اندماجاً مصحوباً بطاقة أيضاً .

وفى الواقع تعتبر الشمس مثالاً واضحاً على طاقة الاندماج : ففى الشمس وجد العلماء أن أنوية الأيدروجين تندمج لتعطى أنوية الهيلوم . وحيث إن نواة الهيلوم أخف وزناً من أنوية الأيدروجين المندمجة فإن الفرق فى الكتلة يتحول إلى طاقة تصلنا فى أشعة الشمس .

وفى المعامل على كوكبنا وجد العلماء أن هناك فرصة كبيرة لالتحام

نواتين من الديوتيريوم لإعطاء الهيلوم أكثر من فرصة التحام أربعة أنوية من الأيدروجين . والديوتيريوم هو أحد نظائر الأيدروجين وهو موجود فى المياه الطبيعية ولكن بنسبة ضئيلة ففى الماء جزء واحد مقابل ٦٦٦٦ جزءاً من الأيدروجين . وعلى الرغم من ذلك فتعد طاقة الاندماج الممكن الحصول عليها من الطبيعة حوالى ١٠^٨ مرة قدر طاقة الفحم ، وحوالى ١٠^٩ مرة قدر طاقة البترول والفلز وحوالى ١٠^٦ مرة قدر طاقة انشطار اليورانيوم النووية .

وعملية اندماج الأنوية ليست عملية سهلة كما قد نعتقد ، وإنما هى عملية تكنولوجية معقدة ، ويكفى دلالة على ذلك أن نذكر أن الوسط الذى يحدث فيه الاندماج يجب أن ترتفع درجة حرارته إلى مئات الملايين من الدرجات المئوية .

ولكن لايحتاج التفاعل إلى طاقة خارجية لإمداد كل هذه الحرارة ، لأنه ماإن يبدأ التفاعل حتى تتولد منه كميات هائلة من الطاقة الحرارية التى تجعل التفاعل متسلسلاً ، وأصبحت المشاكل التكنولوجية تتلخص فى إيجاد المعادن التى يمكنها أن تتحمل هذه الحرارة إن وجدت أوالطرق الكفيلة بحصر وسط التفاعل بعيداً عن التلامس المباشر ، لأى معدن ؛ فهذه الحرارة العالية لن يتحملها أى معدن .

وقد أثرت البحوث عن إمكان استخدام المجالات المغنطيسية فى

حصر وسط التفاعل داخل أسطوانات مفرغة بحيث لايكون هناك تلامس مباشر مع أسطح هذه الأسطوانات ، بل تستخدم أيضا المجالات المغنطيسية نفسها فى تسخين وسط التفاعل ، علاوة على أن العلماء يستخدمون أيضا أشعة الليزر للغرض نفسه .

الكتاب القادم

الإعلام والنقد الفنى

د . أحمد المغازى

رقم الإيداع	١٩٧٩/٢٣٥١
الترقيم الدولى	ISBN ٩٧٧ - ٢٤٧ - ٦٨٠ - ٠

١/٧٨/٤٧٨

طبع بمطابع دار المعارف (ج. م. ع.)